

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии
Базовая кафедра медико-биологических систем и комплексов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ А.Н. Шуваев

« _____ » _____ 2019г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Статистический анализ сбоев в работе разных видов медицинского
оборудования

03.04.02 Физика

03.04.02.09 Технологическое сопровождение ядерной медицины и
медицинского оборудования

Научный руководитель _____ к. ф.-м. н. А.Н. Шуваев

Выпускник _____ Е.Д. Гущина

Рецензент _____ доцент, к.б.н. И.В. Свидерская

Красноярск 2019

РЕФЕРАТ

Выпускная магистерская диссертация по теме «Статистический анализ сбоев в работе разных видов медицинского оборудования» содержит 44 страниц текстового документа, 10 иллюстраций, 12 таблиц, 9 формул, ссылки на 32 литературных источников, 2 приложения.

МОДЕЛЬ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПУАССОНА, ПУАССОНОВСКИЙ ПРОЦЕСС, СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, МЕДИЦИНСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, НЕИСПРАВНОСТИ, СБОИ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ, МАРКОВСКАЯ ЦЕПЬ, ВЕРОЯТНОСТЬ ПОЛОМКИ, ВИДЫ ОБОРУДОВАНИЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ.

Цель: разработка статистической модели на основе пуассоновского процесса для анализа сбоев в работе разных видов медицинского оборудования отделений ФСНКЦ ФМБА России.

Существующий порядок сбора информации о неисправностях медицинского оборудования не позволяет провести анализ причин поломок на современном уровне. В связи с этим, данная работа – это попытка сбора, анализа и обобщения материала по данной теме.

В ходе работы была создана электронная база данных по неисправностям отделений ФСНКЦ ФМБА России за период 06.2014-11.2016 гг., модель на основе пуассоновского процесса, которую можно применять для: вычисления вероятности поломок медицинского оборудования (МО) в момент времени t , прогнозирования и обоснования причин сбоев. В результате попарного сравнения отделений по плотности вероятности поломок МО получили значения p -value и рассчитали отношения отделений со значениями p -value $> 0,05$.

В дальнейшем работа может быть использована для оптимизации инженерной службы технического отдела ФСНКЦ ФМБА России, написании

регламента фиксирования сбоев, для прогнозирования надежности медицинского оборудования и установления причин поломок в том числе с использованием модели многокомпонентного Байесовского подхода, расчета достоверной оценки состояния медицинской техники.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. Литературный обзор.....	9
1.1 Пуассоновский процесс.....	10
1.2 Марковские процессы.....	11
1.3 Примеры пуассоновских процессов.....	11
1.4 Применение модели на основе пуассоновского процесса в медицине.....	13
1.4.1 Теория массового обслуживания.....	13
1.4.2 Смешанные модели.....	13
1.5 Распределение Пуассона.....	14
1.6 Схема марковской цепи.....	15
2. Объекты и методы исследования.....	17
2.1 Объект исследования.....	17
2.1.1 Акты выполненных работ.....	17
2.1.2 Перечень оборудования.....	17
2.2 Методы исследования.....	17
2.2.1 Первоначальная обработка данных.....	17
2.2.2 Частота поломок медицинского оборудования.....	20
2.2.3 Критерий χ^2	21
2.2.4 Доверительный интервал эмпирической вероятности поломок.....	22
2.3 Модель на основе пуассоновского процесса.....	22
3. Результаты исследования.....	24
3.1 Сбор и начальная обработка данных.....	24

3.2 Результаты расчетов эмпирической модели.....	26
3.2.1 Частоты поломок медицинского оборудования по отделениям.....	26
3.2.2 Критерий χ^2 для сравнения распределений плотности вероятности поломок по отделениям.....	29
3.2.3 Расчет отношения вероятностей поломок для отделений с достоверной различающейся динамикой поломок.....	31
ВЫВОДЫ.....	37
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	38
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	42

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время медицинская промышленность предоставляет

большой выбор оборудования, поступающего в учреждения здравоохранения, позволяющего проводить эффективное лечение больных. «К медицинской технике и изделиям медицинского назначения относятся аппараты, приборы, оборудование, инструменты, материалы, приспособления, предназначенные для диагностики заболеваний и иных состояний человека, профилактики и лечения заболеваний, облегчения состояния, реабилитации, удобства проведения медицинских процедур, которые включены в официальное издание Государственного реестра медицинских изделий РФ» [1]. Однако интенсивная эксплуатация медицинской техники может привести к скорейшему выходу из строя. Во избежание дорогостоящего ремонта, нужно регулярно проводить техническое обслуживание (ТО), что в разы экономнее. Только с помощью ТО можно минимизировать затраты на нормальную эксплуатацию медицинского оборудования в течение всего срока службы. А полноценное ТО в свою очередь зависит от систематизированного руководства, которое должно быть основано на действующих нормативных документах. Однако из-за отсутствия в России единой службы по контролю неисправностей в работе медицинской техники, отсутствует и единое руководство [1].

Соответственно, настоящая система мониторинга сбоев медицинского оборудования ФСНКЦ ФМБА России устарела. Существующий порядок сбора информации о поломках медицинского оборудования не позволяет провести полный анализ причин поломок на современном уровне. В частности, инженерная служба технического отдела подразделений медицинских учреждений ФСНКЦ ФМБА России принимает заявки о неисправностях, в которых записывает минимальную информацию без указания причин поломок и условий эксплуатации. А именно: поломки фиксируют в журналах от руки без базовой обработки, журналы находятся в рукописном варианте, отдельно ведутся журналы не по всем отделениям, некоторые перечни медицинского оборудования по отделениям на данный

год устарели.

В связи с этим, данные о неисправностях либо отсутствуют, либо находятся в неудовлетворительном состоянии. Из такой информации можно рассчитать только частоту поломок оборудования. Поэтому данная работа – это попытка сбора, анализа и обобщения материала по данной теме.

Проанализировав полученные данные мы можем лучше понять причины поломок. В дальнейшем работа может быть использована для оптимизации инженерной службы технического отдела ФСНКЦ ФМБА России, написании регламента фиксирования сбоев, для прогнозирования надежности медицинского оборудования, вследствие к созданию единой службы на территории РФ.

Целью данного исследования является разработка статистической модели на основе пуассоновской процесса для анализе сбоев в работе разных видов медицинского оборудования отделений ФСНКЦ ФМБА России.

Для достижения данной цели был поставлен ряд задач, а именно:

1. Создание и систематизация электронной базы данных по неисправностям медицинского оборудования технического отдела ФСНКЦ ФМБА России на основе рукописных журналов из архива за период 06.2014 - 11.2018гг.;

2. Создание параметрической нелинейной модели и сравнение предсказания частоты поломок модели с данными по отделениям ФСНКЦ ФМБА России;

3. Применение модели на основе пуассоновского процесса с непостоянными параметрами для анализа полученных данных. Выявить отделения с достоверно различающейся динамикой поломок отдельных видов медицинского оборудования;

4. Рассчитать отношения вероятностей поломок за 1, 2 и 3 года для

отделений с достоверной различающейся динамикой поломок отдельных видов медицинского оборудования.

1. Литературный обзор

В России до 1992 г. действовала система централизованного обеспечения медицинской техникой (МТ) по заявкам государственных учреждений здравоохранения. Анализ и выполнение собранных заявок осуществлялись ежегодно через систему региональных государственных предприятий «Медтехника». В 1992 г. эффективное функционирование этой системы было нарушено, снизились объемы планового бюджетного финансирования, выделяемого на закупку МТ. В результате в настоящее время медицинскими учреждениями используется медицинское оборудование (МО), выработавшее нормативные сроки эксплуатации (15-20 лет) и нуждающееся в замене [2]. Следовательно, такая техника не может гарантировать качественное обследование, безопасность и эффективность диагностики и лечения больных.

Таблица 1 –Показатели износа парка медицинской техники [2]

Группа УЗ	2006 г.		2007 г.		2008 г.	
	отеч.	имп.	отеч.	имп.	отеч.	имп.
Среднее количество физически изношенной и морально устаревшей медицинской техники с нулевой остаточной стоимостью, ед.						
областные	348	124	358	126	379	93
районные	160	18	175	12	178	15
городские	470	86	477	82	466	108
все группы	241	50	254	47	259	44
Среднее количество медицинской техники, ед.						
все группы	403	101	444	107	504	136
Средний износ медицинской техники, %						
все группы	60	50	57	44	51	32

1.1 Пуассоновский процесс

Случайный процесс, непрерывный по времени ($T=\infty$), с выборочной функцией X_t , представляющей число наступления некоторого события за период времени от 0 до текущего момента t , называется пуассоновским.

Любая возможная реализация функции X_t будет выглядеть, как неубывающая ступенчатая функция (рисунок 1).

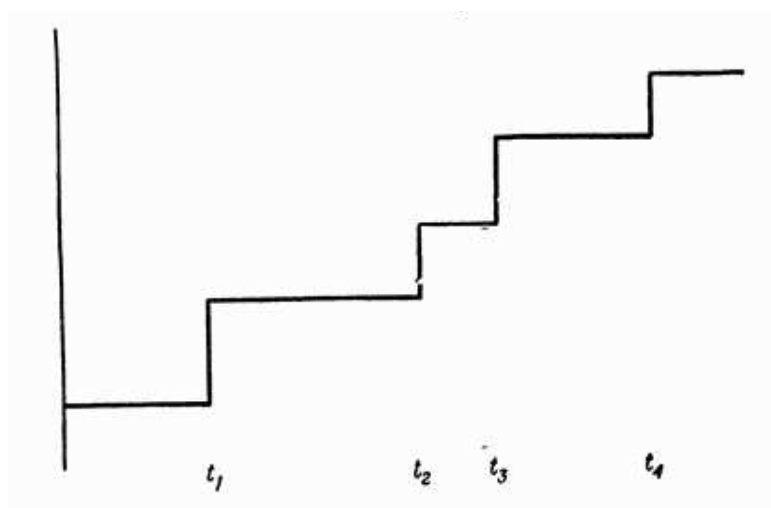


Рисунок 1 – Неубывающая ступенчатая функция [8]

Из рисунка видно, что X_t соответствует первому наступлению события в момент t_1 , второму – в момент t_2 и т.д. Общее число наступления события возрастает только единичными скачками, а $X_0=0$ [8].

Примерами подобного рода процессов являются: число телефонных вызовов, число выхода из строя (поломок) оборудования, число поступивших заявок на обслуживание и т.д.

В случае когда объем выборки велик ($N \gg 1$), а вероятность успеха наступления события достаточно мала ($p \ll 1$), число успешных событий также мало ($n \ll N$) и $\underline{n} = Np \ll N$, $\underline{n} = \lambda$ – среднее число успехов в N испытаниях постоянно, число наступления

события подчиняется закону Пуассона.

Пусть $P_m(t)$ обозначает вероятность того, что за время t произойдет ровно m событий, т.е. $P_m(t) = P\{X_t = m\}$, $m = 0, 1, 2, \dots$

Тогда произведя некоторые математические манипуляции и воспользовавшись постулатами, вывели решение дифференциального уравнения в виде

$$P_0(t) = e^{-at}, \text{ т.к. } C=1 \text{ из начальных условий } P_0(0) = 1.$$

Найдем теперь $P_m(t)$ для любого m , проведя еще ряд манипуляций, получаем

$$P_m(t) = \frac{a^m t^m}{m!} e^{-at}$$

Другими словами, при каждом t X_t подчиняется распределению Пуассона с параметрами at [7].

1.2 Марковские процессы

Процесс, обладающий свойством, что вероятность любого события, настоящее состояние которого точно известно, связанного с будущим поведение процесса, не изменится, если учесть дополнительную информацию относительно прошлого этого процесса, называется марковским. Другими словами, если известно значение X_t , то значения X_s , $s > t$, не зависят от X_u , $u < t$.

Однако, если знание настоящего состояния процесса не точно, то вероятность будущего поведения будет зависеть от наших знаний о прошлом этого процесса [8].

1.3 Примеры пуассоновских процессов

(а) Можно проиллюстрировать пуассоновский процесс на примере

выхода из строя медицинского оборудования. Пусть случайная величина $X(t)$ обозначает число сломанного оборудования (установок) за интервал времени $[0, t]$. Предположим, что общее число поломок (N) весьма велико, так что оборудование, с которым уже случалась поломка имеет не больше шансов выйти из строя, чем любое другое, которое еще не ломалось, и что интенсивность поломок не зависит от времени. При этих идеальных условиях процесс $[X(t), t \geq 0]$ можно считать пуассоновским. Этот пример поясняет марковское свойство (вероятность поломки не зависит от числа уже случившихся) и свойство независимости от времени ожидания, которое является наиболее характерным для пуассоновского процесса; оно означает, что оборудование, которое только что ввели в эксплуатацию, имеет такой же шанс на поломку за определенный интервал времени, как и то, что уже эксплуатируется какое-то время без поломок.

(б) Пример, связанный с задачами, возникающими в теории счетчиков, рассматривать не будем. Данный пример демонстрирует, что вероятность события за единицу времени можно считать не меняющейся с течением времени [7].

(в) Пуассоновские процессы возникают во многих моделях образования очередей (массового обслуживания). Наибольшее внимание в данных моделях уделяется моментам времени, образующим пуассоновский поток, когда изменяется длина очереди $X(t)$ в момент времени t , а не самим значениям $X(t)$. С моделью образования очередей можно ознакомиться в статье [11]. Частным случаем подобных моделей является процесс выхода из строя медицинского оборудования [8].

Обобщим пуассоновский процесс, допустив зависимость вероятности происхождения события в данный момент времени от числа событий, которые уже произошли. Примером такого явления служит воспроизведение живых организмов (процесс чистого размножения).

1.4 Применение модели на основе пуассоновского процесса в медицине

1.4.1 Теория массового обслуживания

В статье «Application of Queuing Model to Patient Flow in Emergency Department. Case Study» 2015 года описывается применение модели на основе пуассоновского процесса для анализа очередей в переполненных отделениях неотложной помощи и решения проблемы, постоянного увеличения людей, т.е. длительного времени ожидания, которая влияет на качество и доступ к медицинской помощи.

В этом исследовании была использована модель очередей (теория массового обслуживания) на основе пуассоновского процесса для анализа потока пациентов в отделении неотложной помощи с достаточно точной оценкой производительности системы и поиска оптимального решения сокращения времени ожидания пациентов и обеспечения своевременного ухода. Модель массового обслуживания - это полезный инструмент для планирования пропускной способности.

1.4.2 Смешанные модели

В статье «Statistical Methods in Monitoring Adverse Events for Medical Device Postmarketing Surveillance Studies» применяли смешанную модель на основе биномиального и пуассоновского процесса для анализа отчетов FDA о неблагоприятных случаях с пациентами из-за медицинского оборудования за период 48 месяцев, которые могли вызвать или способствовали смерти, серьезным травмам или заболеванию пациента.

Авторы пришли к выводу, что существует статистически значимая тенденция к увеличению неблагоприятных случаев (по информации из отчетов FDA поступивших сообщений от производителей, врачей, агентств общественного здравоохранения и др.) в течение периода исследования

данных о повреждениях тазобедренного сустава.

Авторы пишут, что не существует уникальных статистических моделей или методов, которые бы подходили к анализу различных наблюдений о неблагоприятных случаях (анализ данных из отчетов FDA).

Также пишут о том, что для объяснения динамически изменяемых данных в отчетах FDA требуется периодическое обновление и проверка модели. Поэтому в этой статье используется несколько статистических методов для описания различных целей тестирования данных из отчетов FDA, обнаружения пиков и мониторинга. Анализ данных проводился с помощью моделей на основе пуассоновского процесса, смешанной модели (биномиальной и пуассоновской), Пуассон с нулевым усечением и отрицательно биномиальной модели.

1.5 Распределение Пуассона

В случае когда объем выборки велик ($N \gg 1$), а вероятность успеха достаточно мала ($p \ll 1$), число успешных событий также мало ($n \ll N$), $\mu = Np \ll N$, для расчета вероятности $P(n)$ можно использовать распределение Пуассона по формуле:

$$P(n) = \frac{\lambda^n}{n!} e^{-\lambda}, \quad (1.1)$$

где $\mu = \lambda$ – среднее число успехов в N испытаниях.

Если случайные события происходят в заданный интервал времени со средней частотой (λ), то число событий x , произошедших за этот интервал (промежуток) времени, будет иметь распределение Пуассона.

Это распределение используется в случаях, когда требуется рассчитать вероятность какого-либо числа событий в серии испытаний, если известно частоту событий, например, поломки оборудования.

Для распределения Пуассона частота успехов и дисперсия равны друг другу: $\lambda = \sigma^2 = n$.

Условия распределения Пуассона:

1. События происходят независимо друг от друга, т.е. вероятность последующего события не зависит от предыдущего;
2. Средняя частота поломки (λ) постоянна. Как следствие, вероятность события пропорциональна длине интервала наблюдения;
3. Два события не могут произойти одновременно;
4. Число событий должно принимать значения: 0; 1 ; 2,...

1.6 Схема марковской цепи

Для описания ситуации с разными частотами поломок ($\lambda_i(t)$) МО в разные промежутки времени между поломками воспользовались схемой марковской цепи, показанной на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема марковской цепи

Данную схему можно описать в виде системы дифференциальных уравнений (1.2), из которой составили рекуррентное дифференциальное выражение (1.3) для описания частот поломок ($\lambda_i(t)$) МО.

$$P_0(t) = e^{-\lambda_0 t}$$

$$\frac{dP_1}{dt} = \lambda_0 e^{-\lambda_0 t} - \lambda_1 P_1 \quad (1.2)$$

$$\frac{dP_i}{dt} = \lambda_{i-1} P_{i-1} - \lambda_i P_i, \quad (1.3)$$

где i – число поломок.

Для решения дифференциального выражения (1.3) воспользовались платформой Wolfram Alpha и получили общее рекуррентное выражение (1.4):

$$P_{i+1}(t+\Delta t)=\lambda_i\Delta t P_i(t)+(1-\lambda_{i+1}\Delta t)P_{i+1}(t) \quad (1.4)$$

которое описывает плотность вероятности того, что произойдет более одной поломки МО в момент времени $(t+\Delta t)$.

2. Объекты и методы исследования

2.1 Объект исследования

2.1.1 Акты выполненных работ

Для исследования были использованы данные рукописных журналов приема заявок о неисправности медицинского оборудования из технического отдела подразделений «Федерального Сибирского научно-клинического центра Федерального медико-биологического агентства» (ФСНКЦ ФМБА России) за период с 06.2014 г. по 11.2018 г.

2.1.2 Перечень оборудования

Для расчета частоты поломок медицинского оборудования в отделениях и статистического анализа использовали перечни оборудования подразделений медицинских учреждений ФСНКЦ ФМБА России за 2016-2018 гг.

2.2 Методы исследования

2.2.1 Первоначальная обработка данных

Перед обработкой полученных экспериментальных данных, сначала требовалось создать электронную базу с помощью Excel (т.е. перенести все рукописные журналы в электронный вид - 57 отделений и 1969 ед.

оборудования за 54 месяца), упорядочить их по отделениям ФСНКЦ ФМБА России и типам оборудования в виде сводной таблицы в приложение А.

В таблице 2 показана структура систематизации (название столбцов) данных по поломкам МО в отделениях медицинских учреждений.

Таблица 2 – Структура систематизированных данных по неисправностям МО подразделений ФСНКЦ ФМБА России

№ п/п	Дата поступления	Дата исполнения	Наименование прибора	Марка прибора	Год выпуска	Отделение	Неисправность	Адрес
-------	------------------	-----------------	----------------------	---------------	-------------	-----------	---------------	-------

Адреса и список отделений, которые были выбраны для исследования с указанием количества оборудования (ед.), сокращений, которые использовались в работе далее, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Адреса и наименование отделений медицинских учреждений ФСНКЦ ФМБА России, выбранных для исследования

№	Отделение	Сокращение	Адрес	Кол-во оборудования, ед.
1	Физиотерапевтический кабинет №1	<i>ФТК№1 (№30)</i>	ул. Вавилова, 23Б	21
2	Физиотерапевтический кабинет №2	<i>ФТК№2 (№42)</i>	ул. К.Маркса, 34Б	48
3	Физиотерапевтическое отделение	<i>ФТО№5</i>	ул. Коломенская, 26	58
4	Физиотерапевтический кабинет №2	<i>ФТК№2 (№41)</i>	ул. Богграда, 13	11
5	Приемный покой №1	<i>П/п №1</i>	ул. Коломенская, 26	14
6	Приемный покой №2	<i>П/п №2</i>	ул. Вавилова, 23Б	8

7	Отделение функциональной диагностики ДЦ	ФД (№32)	ул. Вавилова, 23Б	26
8	Неврологическое отделение №5	Н/о №5	ул. Вавилова, 23Б	11
9	Неврологическое отделение №2	Н/о №2	ул. К.Маркса, 34Б	41
10	Терапевтическое №2	ЦСТuОЗ	ул. Вавилова, 23Б	28

В таблице 4 представлены наименования типов и марок медицинских оборудования, выбранных для исследования.

Таблица 4 – Наименование оборудования, которые были выбраны для исследования (тип и марка оборудования)

№	Наименование оборудования (тип)	Марка оборудования
1	Аппарат для ультразвуковой терапии	УЗТ
2	Аппарат для УВЧ-терапии	УВЧ
3	Аппарат лазерный терапевтический	Узор 2К
4	Парафинонагреватель	Каскад – 40
5	Аппарат для местной дарсонвализации ламповый	Искра – 1
6	Аппарат магнито-инфракрасный лазерный терапевтический	Милта
7	Аппарат низкочастотной физиотерапии	Амплипульс – 5
8	Аппарат для низкочастотной магнитотерапии передвижной	Полюс 2М
9	Облучатель ультрафиолетовый длинноволновый для групповых облучений	УГН – 1
10	Аппарат лазерный видимого и инфракрасного диапазонов излучения	Мустанг 2000+

11	Персональный аппарат для массажа переменным электростатическим полем	<i>Hivamat 200</i>
12	Облучатель бактерицидный	<i>ОБН-150</i>
13	Облучатель-рециркулятор воздуха УФ-бактерицидный	<i>Дезар – 7</i>
14	Весы напольные медицинские электронные	<i>ВМЭН</i>
15	Рециркулятор УФ-бактерицидный 2х ламповый с принудительной циркуляцией воздуха	<i>РБ-06-ЯФП</i>

2.2.2 Частота поломок медицинского оборудования

1. Частоту поломок МО в месяц по отделениям (λ) рассчитывали по формуле (для постоянной λ):

$$\lambda = \frac{n}{N} \quad (2.1)$$

где n - количество поломок МО в месяц в отделении, N - общее количество МО в данном отделении.

После расчета частоты поломок всего МО по отделениям медицинских учреждений ФСНКЦ ФМБА России, построили графики распределений. И сравнили с предсказаниями частот поломок теоретической модели, которое показало, что λ в разные промежутки времени между поломками МО оказалась непостоянной (значения λ менялось в зависимости от разных интервалов времени). Следовательно, λ нужно вычислять по формуле (2.2).

2. Частоты поломок МО по отделениям (λ_i) в разные интервалы времени t рассчитывалась по формуле (для ($\lambda_i(t)$)):

$$\lambda_i(t) = \frac{N}{t_{i+1} - t_i} \quad (2.2)$$

где $(t_{i+1} - t_i)$ - промежуток (интервал) времени между поломкой МО, N - количество поломок, произошедших за данный период.

Далее все частоты поломок МО $(\lambda_i(t))$ использовали для вычисления плотности вероятности $(i+1)$ поломки МО в момент времени $(t + \Delta t)$ по формуле:

$$P_{i+1}(t + \Delta t) = \lambda_i \Delta t P_i(t) + (1 - \lambda_{i+1} \Delta t) P_{i+1}(t) \quad (2.3)$$

Затем рассчитали плотности вероятности выхода из строя хотя бы 1 оборудования в момент времени t по формуле:

$$\underline{P} = 1 - \prod_{i=0}^n (1 - P_i(t)) \quad (2.4)$$

Нормировали полученные значения для построения графиков и для дальнейшего попарного сравнения одного и того же МО из разных отделений с помощью критерия χ^2 . Полученные значения p-value записали в таблицу 6.

2.2.3 Критерий χ^2

Нулевая гипотеза данного исследования заключалась в том, что интенсивность поломок (плотность вероятности поломок) МО в отделениях медицинских учреждений ФСНКЦ ФМБА России статистически отличается. Следовательно, значение $p\text{-value} > 0,05$ подтверждает нулевую гипотезу.

Для сравнения полученных значений \underline{P} и подтверждения нулевой гипотезы, использовали стандартный метод статистического анализа - χ^2 (критерий согласия Пирсона) по формуле:

$$\chi^2 = \frac{\sum (P_i - P_j)^2}{P_j}, \quad (2.5)$$

где P_i - плотность вероятности выхода из строя оборудования хотя бы 1 раз в момент времени t в одном отделении, P_j - плотность вероятности выхода из строя оборудования хотя бы 1 раз в момент времени t в другом

отделении. Таким образом, сравнили все отделения подразделений ФСНКЦ ФМБА России попарно, перебирая все возможные сочетания.

Расчеты χ^2 проводили с использованием языка программирования для статистической обработки данных - R Studio с помощью встроенной функции: `chisq.test`.

После этого, полученные значения, заносили в таблицу 6 и выбирали пары отделений с $p\text{-value} > 0,05$.

2.2.4 Достоверный интервал эмпирической вероятности поломок

Для вычисления доверительного интервала необходимо рассчитать среднее, дисперсию и среднеквадратичное отклонение. Расчеты доверительного интервала проводили с помощью пакета «Анализа данных» в Excel и встроенных функций R Studio.

Из значений дисперсии находили среднеквадратичное отклонение (квадратный корень из дисперсии), затем вычисляли доверительный интервал с помощью Excel или R Studio. Полученные значения записываем в таблицу 7.

2.3 Модель на основе пуассоновского процесса

Заявки по неисправностям МО можно разделить на две группы: 1. Техническое обслуживание (ТО) - систематический плановый осмотр оборудования и замена изношенных деталей; 2. Сбои (поломки) - события случайного характера, требующие ремонта оборудования по факту отказа.

При анализе данных предполагаем, что частота поломок в медицинских учреждениях ФСНКЦ ФМБА России носит случайный характер и подчиняется закону распределения Пуассона.

В расчетах использовали только поломки без ТО. Параметрами модели

в данном исследовании являются: $p(x)$ - вероятность случайной поломки в n месяцев, $(1-p)$ - вероятность того, что оборудование не выйдет из строя, n - количество месяцев, в каждом из которых может произойти только 2 события: поломки не случится (неудача), оборудование выйдет из строя (успех).

Далее рассчитывали по формуле (2.2) частоты поломок МО в разные интервалы времени. Затем все значения частот поломок использовали для вычисления плотности вероятности $(i+1)$ случайной поломки МО в момент времени $(t+\Delta t)$ в отделении по формуле (2.3).

После этого, рассчитали плотности вероятности (интенсивность поломок) выхода из строя хотя бы 1 оборудования в момент времени t по формуле (2.4).

Нормировали полученные значения для построения графиков и для дальнейшего попарного сравнения одного и того же МО из разных отделений с помощью критерия χ^2 . Полученные значения p-value записали в таблицу 6.

Все расчеты плотности вероятности поломок МО по отделениям и построение графиков проводили с помощью программы R Studio.

В самом конце рассчитывали отношения вероятностей поломок за 1, 2 и 3 года для отделений с достоверной различающейся динамикой поломок отдельных видов медицинского оборудования с помощью R Studio.

3. Результаты исследования

3.1 Сбор и начальная обработка данных

Данные по поломкам МО подразделений ФСНКЦ ФМБА России были получены в архиве технического отдела из рукописных журналов «приема заявок о неисправностях медицинского оборудования» за период с 06.2014 по 11.2018 гг. (54 месяца).

Для анализа полученной информации данные из рукописных журналов переносили в электронный вид с помощью Excel и систематизировали (упорядочили) по отделениям. В таблице 4 представлен фрагмент данных по неисправностям МО.

Таблица 4 – Фрагмент систематизированных данных по поломкам МО подразделений ФСНКЦ ФМБА России

№ п/п	Дата поступления	Дата исполнения	Наименование об-ния	Марка прибора	Год выпуска	Отделение	Неисправность	Адрес
1	05.06.14	04.06.14	Массажный стол	—	—	ОРД	Ремонт пульта	К.Маркса, 34Б
2	09.06.14	09.06.14	Кровать функциональная	—	—	н/о№1. п.609	Неисправен пульт	Коломенская, 26
3	16.06.14	16.06.14	Радиовизиограф	—	—	РДО, пол-ка№2	Не делает дентальные рентген снимки	Богграда,13
4	19.06.14	19.06.14	Стерилизатор паровой	ГК-100-3	2007	ЦСО	продувка в процессе «стерилизации»	Коломенская, 26
5	19.06.14	20.06.14	Стоматологическая установка	—	—	Здравпункт «Красмаш»	Не работает подъемник кресла, из пистолета идет вода	Красноярский рабочий, 27

6	19.06.14	20.06.14	Стоматологическая установка	Smile Symptic ECO		стоматология, к.222	Не работает слюноотсос	Коломенская, 26
7	19.06.14	20.06.14	Стоматологическая установка	—	—	стоматология, к.224	Течь воды из-под установки	Коломенская, 26
8	19.06.14	20.06.14	Аппарат “герасимова”	—	—	ЦФР (vip)	Ремонт эл.провода	Вавилова, 23Б
9	27.06.14	30.06.14	Аппарат лазерно-светодиодный физиотерапевтический	Спектр ЛЦ	—	ФТОН ₂	Нет контактов на излучателе	К.Маркса, 34Б
10	27.06.14	30.06.14	Облучатель бактерицидный настенный	ОБН – 150	—	ФТОН ₂	Нужна замена ламп	К.Маркса, 34Б

После того, как перенесли все данные по поломкам МО в таблицу Excel, систематизировали и отсортировали стандартными фильтрами по отделениям, получили всего 57 отделений разных медицинских учреждений ФСНКЦ ФМБА России. Перечень всех отделений с адресами и количеством оборудования представлен в приложении Б, а отобранных для исследования показаны в таблице 3.

Для сортировки МО по отделениям требовались перечни оборудования за 2016-2018 гг. подразделений медицинских учреждений ФСНКЦ ФМБА России, предоставленные техническим отделом, на основании которых были отобраны те отделения для дальнейшего исследования, по которым данные списки имелись. А так как в журналах приема заявок о неисправностях в большинстве случаев не указывали год выпуска, марку и точное наименование оборудования, анализ по таким отделениям провести было невозможно. Сводная таблица по отделениям и оборудованию, используемых в исследовании, представлена в приложении А.

По каждому отделению четко прописан регламентируемый минимум

(кол-во и соотношение) МО, поэтому перечни оборудования в период 2014-2018гг. не сильно отличались по техническому оснащению. Данные по поломкам сравнивали только тех оборудования, которые не были списаны и активно эксплуатировались в рассматриваемый нами период времени.

3.2 Результаты расчетов эмпирической модели

3.2.1 Частоты поломок медицинского оборудования по отделениям

Из той информации, что была предоставлена для исследования, можно было посчитать только частоту поломок МО по отделениям, а затем сравнить полученные результаты между отделениями.

Для описания экспериментальных данных, было выбрано однопараметрическое дискретное распределение Пуассона. Выбор был обусловлен тем, что данное распределение моделирует вероятность успешных событий за фиксированный промежуток времени. Предположили, что это теоретическое распределение точнее опишет полученное эмпирическое.

При сравнении рассчитанных значений частоты поломок МО (λ) по формуле (2.1) с теоретической моделью в R Studio оказалось (рисунок 3), что теоретическая модель не описывает экспериментальные данные, т.к. λ для каждого оборудования в разные промежутки времени между поломками меняется.

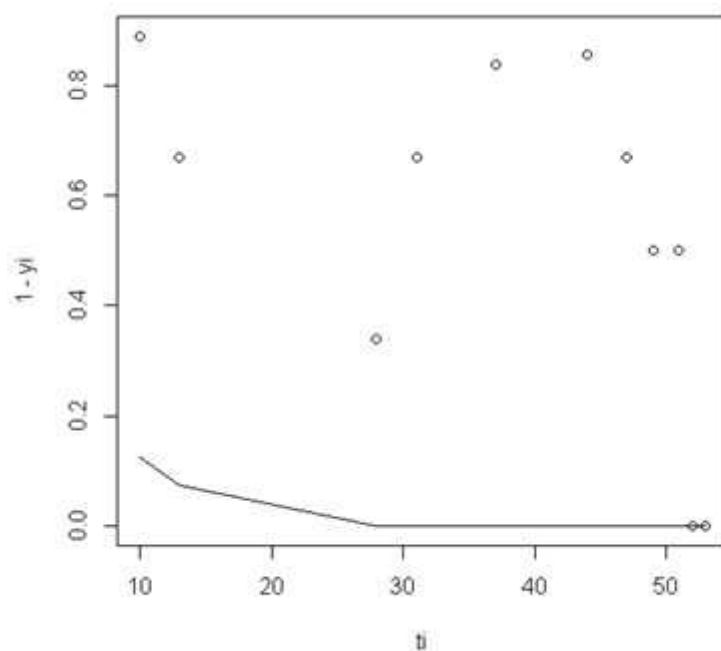


Рисунок 3 – Сравнение теоретической модели с экспериментальной в R Studio

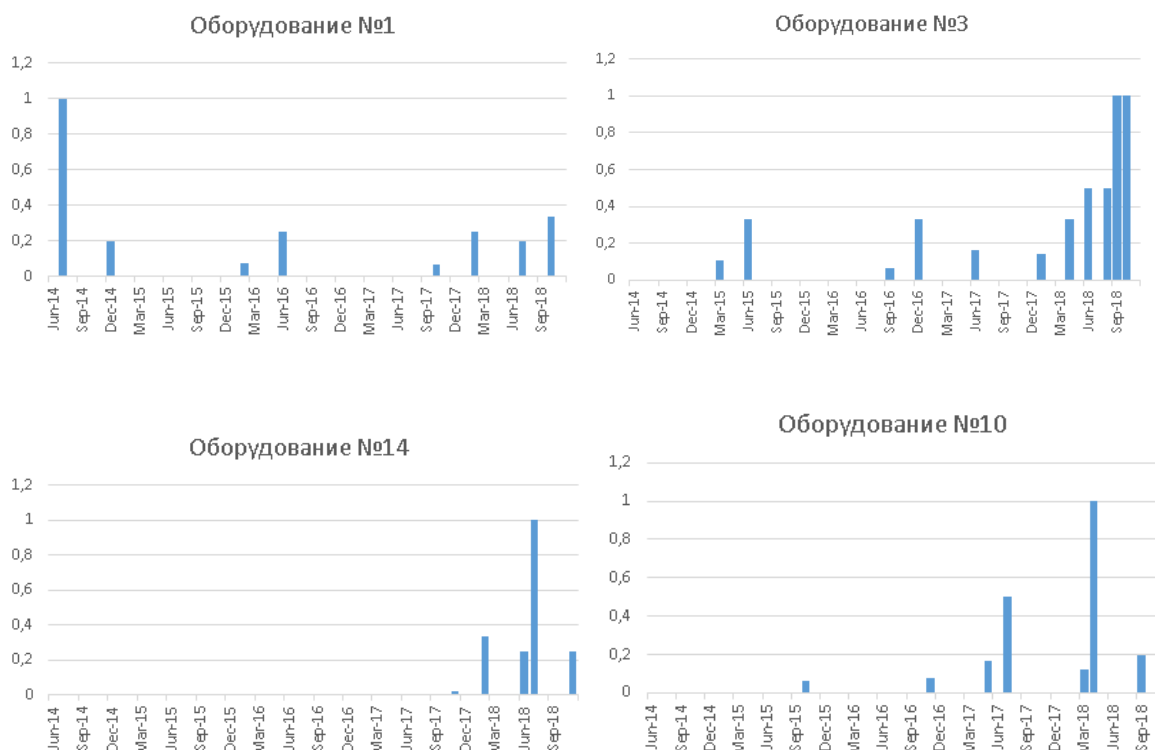


Рисунок 4 – Распределение частот поломок медицинского оборудования по месяцам отделения ФТК№1 за период 54 месяца

Следовательно, расчет $(\lambda_i(t))$ требовалось провести по формуле (2.2) и по полученным значениям построить графики.

В таблице 5 приведены полученные значения частоты поломок одного отделения (ФТОН№5) из 10, которые были отобраны для исследования. Первый столбец - номера оборудования, второй - параметры: частота поломок и время, в остальных - значения ($\lambda_i(t)$).

Таблица 5 – Фрагмент значений частот поломок в зависимости от интервала времени между поломками МО ($\lambda_i(t)$) отделения ФТОН№5_

1	ti	1	15	18	27	29	37	44	45	51	52
	λ	1	0.0714	0.333	0.111	0.5	0.125	0.1429	1	0.167	1
3	ti	2	3	5	6						
	λ	1	1	0.5	1						
5	ti	16	20	22	31	32	33	35	38	39	46
	λ	0.067	0.25	0.5	0.111	1	1	0.5	0.333	1	0.143
6	ti	10	12	18	26	33	34	54			
	λ	0.111	0.5	0.167	0.125	0.1429	1	0.05			
12	ti	2	3	9	27	30	36	37	54		
	λ	1	1	0.167	0.056	0.333	0.167	1	0.059		
14	ti	1	2	4	5	10	16	17	18	20	23
	λ	1	1	0.5	1	0.2	0.167	1	1	0.5	0.333
16	ti	1	15	18	27	29	37	44	45	51	52
	λ	1	0.0714	0.333	0.111	0.5	0.125	0.1429	1	0.167	1
17	ti	6	11	18	27	28	36	37	39	46	54
	λ	0.2	0.2	0.1429	0.111	1	0.125	1	0.5	0.143	0.125
18	ti	3	9	27	41	44					
	λ	0.5	0.167	0.056	0.0714	0.333					
19	ti	4	13	16	17	27	28	30	32	33	34
	λ	0.333	0.111	0.333	1	0.1	1	0.5	0.5	1	1

29	ti	2	22	44	45	51	54
	λ	1	0.05	0.0455	1	0.167	0.333
37	ti	36	38	41			
	λ	0.029	0.5	0.333			

По полученным значениям $(\lambda_i(t))$ были рассчитаны плотности вероятности $(i+1)$ поломки МО по отделениям в момент времени $(t+\Delta t)$ по формуле (2.3) и построены графики.

Затем рассчитали плотности вероятности выхода из строя хотя бы 1 оборудования в момент времени t по формуле (2.4).

Нормировали полученные значения для построения графиков и для дальнейшего попарного сравнения одного оборудования из разных отделений с помощью критерия χ^2 .

3.2.2 Критерий χ^2 для сравнения распределений плотности вероятности поломок по отделениям

После расчета показателей критерием χ^2 при попарном сравнении всех отделений, имеющих данное оборудование, составили таблицу 6 со всеми показателями p-value по парам отделений.

Значения p-value $> 0,05$ не противоречат нашей гипотезе, о том, что интенсивность поломок МО в отделениях статистически отличается друг от друга.

Проверка гипотезы осуществлялась по полученным значениям p-value с помощью критерия χ^2 . Из таблицы 6 были выявлены 2 отделения из 10 с показателями p-value $> 0,05$.

Таблица 6 – Попарное сравнение значений χ^2 критерием χ^2 по отделениям с одинаковыми видами медицинского оборудования

		1	2	3	4	1-2	2-3	1-3	1-4	2-4	3-4
1	УЗТ	ФТК№1 (№30)	ФТК№2 (№42)	ФТО№5		0.0001	2.2E-16	0.3022			
2	УВЧ	ФТК№1 (№30)	ФТО№5	ФТК№2 (№41)		2.20E-16	2.20E-16	1.90E-12			
3	УЗОР 2К	ФТК№1 (№30)	ФТО№5			2.20E-16					
4	Каскад 40	ФТК№1 (№30)	ФТО№5			0.3203					
5	Искра-1	ФТК№1 (№30)	ФТО№5	ФТК№2 (№42)		2.20E-16	2.20E-16	2.20E-16			
6	Милта	ФТК№1 (№30)	ФТК№2 (№42)	ФТО№5		8.14E-12	2.20E-16	1.22E-05			
7	Амплипу льс5	ФТК№1 (№30)	ФТК№2 (№42)	ФТО№5	ФТК№2 (№41)	2.20E-16	2.20E-16	0.1096	2.20E-16	1.79E-13	3.39E-13
8	Полюс 2/2М	ФТК№1 (№30)	ФТК№2 (№42)	ФТО№5		2.20E-16	2.20E-16	0.002754			
9	УГН-1	ФТК№1 (№30)	ФТК№2 (№42)	ФТК№2 (№41)		2.20E-16	2.20E-16	2.20E-16			
10	Мустанг 2000+	ФТК№2 (№42)	ФТК№2 (№41)			0.001221					
11	Hivamat 200	ФТК№2 (№42)	ФТО№5	ФТК№2 (№41)		2.20E-16	2.20E-16	1.55E-10			
12	ОБН-150	ФТК№2 (№42)	н/о№5	н/о№2		2.20E-16	4.72E-07	1			
13	Дезар-7	П/п№1	П/п№2	н/о№5	ЦСТuO3	1	1.24E-06	2.20E-16	1.80E-09	1	2.20E-16
14	Весы	П/п№1	ЦСТuO3			0.03317					
15	РБ-06- ЯФП	ФД (№32)	н/о№5	н/о№2	ЦСТuO3	2.20E-16	2.20E-16	2.20E-16	2.20E-16	2.20E-16	2.20E-16

Из таблицы 6 видно, что значений с $p\text{-value} > 0,05$, которые подтверждают нашу гипотезу, всего 6 – выделены серым цветом. Первые три значения получены при сравнении пары отделений ФТК№1 и ФТО№5 по оборудованию: УЗТ, Каскад – 40, Амплипульс – 5. Далее мы будем сравнивать значения параметров (среднее, дисперсия, асимметрия, эксцесс) этих отделений по данным видам оборудования (таблица 7). Представленные значения $p\text{-value} = 1$, мы не рассматриваем, это недостоверные результаты – присутствуют выбросы. В остальных случаях - интенсивность поломок в отделениях статистически не отличается друг от друга.

Таблица 7 – Сравнения параметров трех видов МО ($p\text{-value} > 0,05$) отделений ФТК№1 и ФТО№5

1. УЗТ	ФТК№1 (№30)	ФТОН№5	2. Каскад-40	ФТК№1 (№30)	ФТОН№5	3. Амплипульс-5	ФТК№1 (№30)	ФТОН№5
<i>Среднее</i>	0.01±0.0007	0.01±0.0004	<i>Среднее</i>	0.01±0.0006	0.01±0.002	<i>Среднее</i>	0.01±0.0005	0.01±0.0007
<i>Дисперсия</i>	$(0.14 \pm 0.03)10^{-4}$	$(0.5 \pm 0.2)10^{-5}$	<i>Дисперсия</i>	$(0.12 \pm 0.02)10^{-4}$	$(0.12 \pm 0.03)10^{-3}$	<i>Дисперсия</i>	$(0.7 \pm 0.2)10^{-5}$	$(0.15 \pm 0.04)10^{-4}$
<i>Крутизна (коэфф. асимметричности)</i>	-0.33	-1.70	<i>Крутизна (коэфф. асимметричности)</i>	-0.29	0.99	<i>Крутизна (коэфф. асимметричности)</i>	-1.44	-0.47
<i>Kurtosis excess</i>	-1.14	3.30	<i>Kurtosis excess</i>	-0.89	-0.56	<i>Kurtosis excess</i>	1.94	-1.20
<i>p-value (χ^2)</i>	0.30		<i>p-value (χ^2)</i>	0.32		<i>p-value (χ^2)</i>	0.11	

В таблице 7 записаны рассчитанные значения параметров трех видов медицинского оборудования (УЗТ, Каскад – 40, Амплипульс – 5) с достоверно различающейся динамикой поломок двух отделений (ФТК№1 и ФТОН№5).

3.2.3 Расчет отношения вероятностей поломок для отделений с достоверной различающейся динамикой поломок

Далее на рисунках 5 – 7 показаны сравнения вероятностей поломок двух отделений (ФТК№1, ФТОН№5) по трем видам оборудования (УЗТ, Каскад – 40, Амплипульс – 5) с достоверно различающейся динамикой поломок.

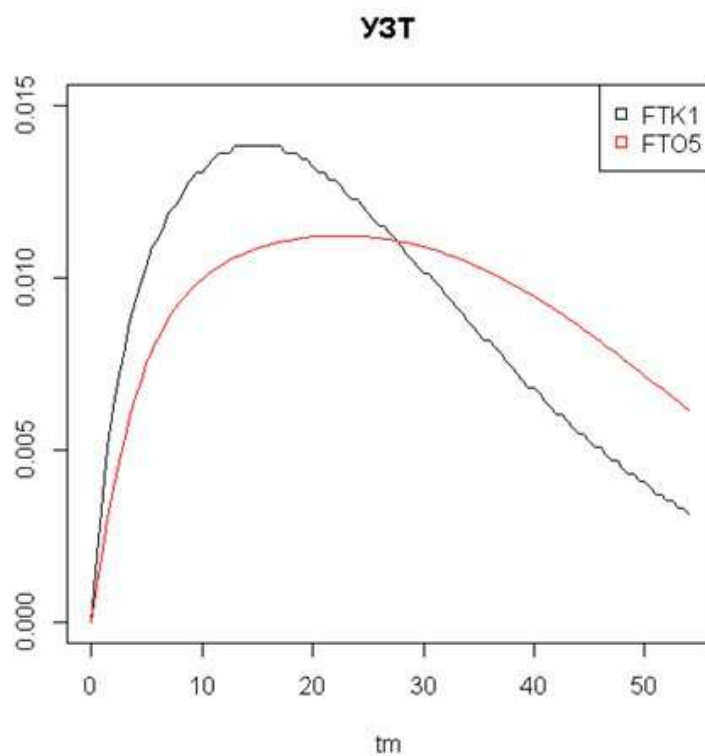


Рисунок 5 – Вероятности поломок УЗТ с $p\text{-value} = 0,3$ отделений ФТК№1 и ФТОН№5.

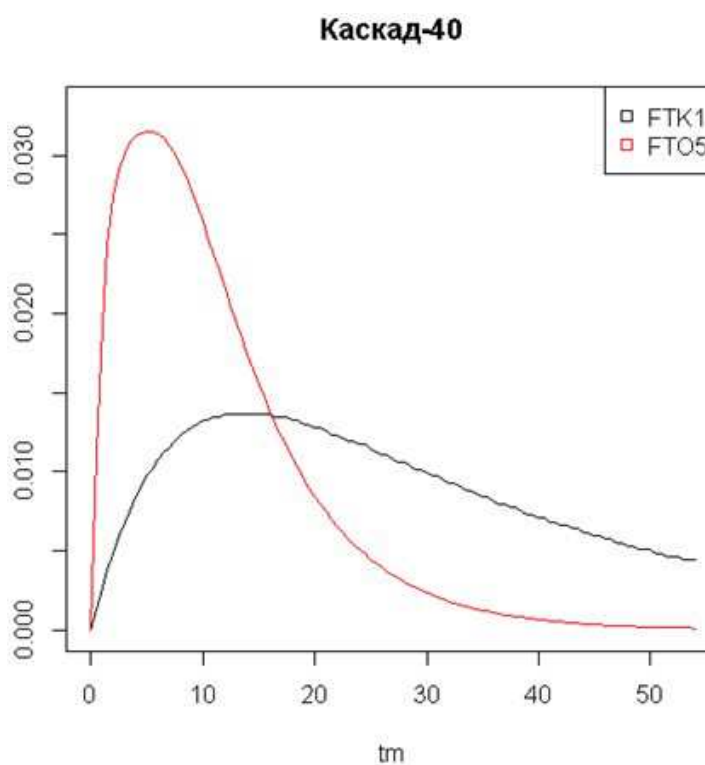


Рисунок 6 – Вероятности поломок Каскад – 40 с $p\text{-value} = 0,32$ отделений ФТК№1 и ФТОН№5

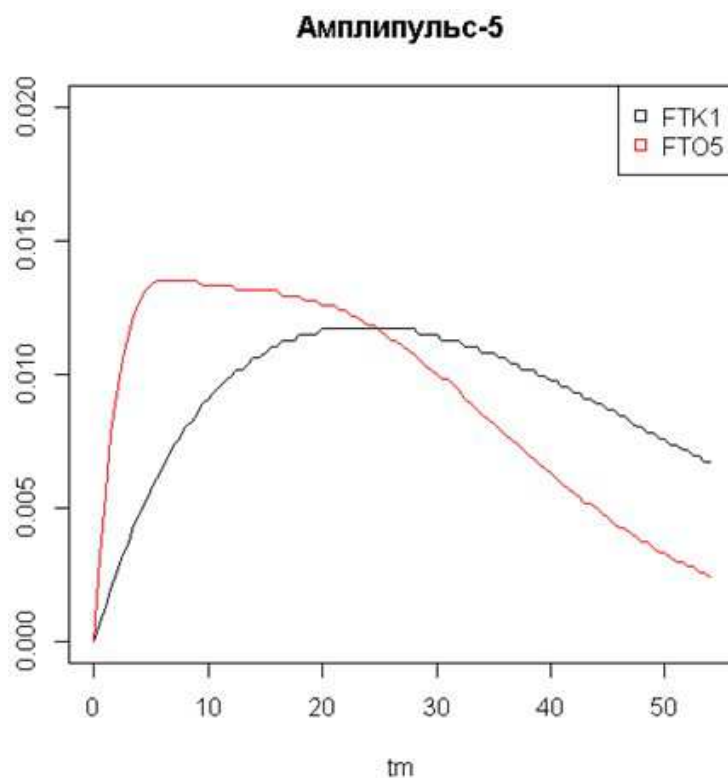


Рисунок 7 – Вероятности поломок Амплипульс – 5 с $p\text{-value} = 0,11$ отделений ФТК№1 и ФТОН№5

Дальше будут рассчитаны отношения вероятностей поломок за 1, 2 и 3 года для отделений ФТК№1 и ФТОН№5 с достоверной различающейся динамикой поломок по трем видам медицинского оборудования (УЗТ, Каскад – 40, Амплипульс – 5) (таблицы 8 – 10) и построены графики (рисунки 8 – 10) в программе R Studio.

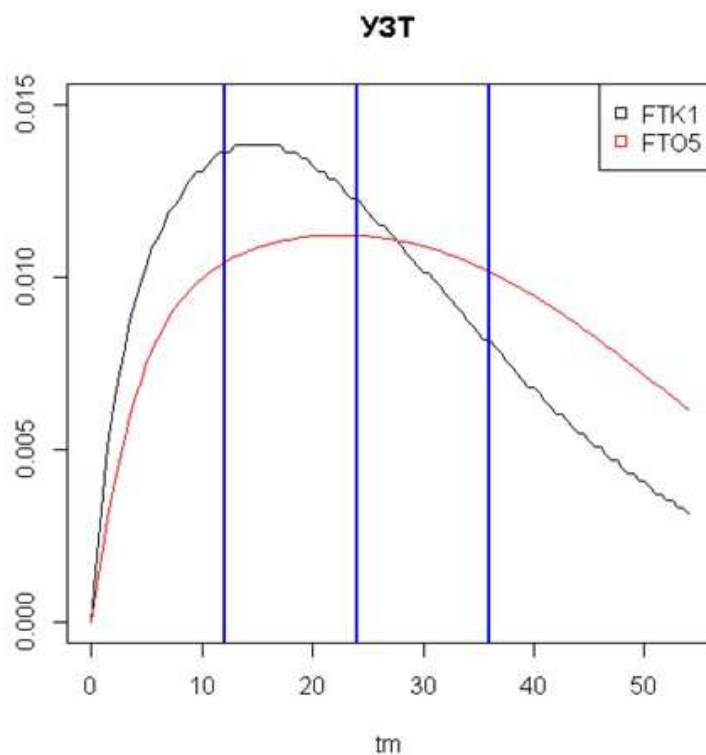


Рисунок 8 – Сравнение вероятности поломок оборудования УЗТ за период 1, 2, 3 года отделений ФТК№1 и ФТО№5

Таблица 8 – Сравнение отношений вероятности поломок оборудования УЗТ за период 1, 2, 3 года отделений ФТК№1 и ФТО№5

УЗТ	T = 1 год	T = 2 года	T = 3 года
ФТК1/ФТО5	1.4	1.3	1.2

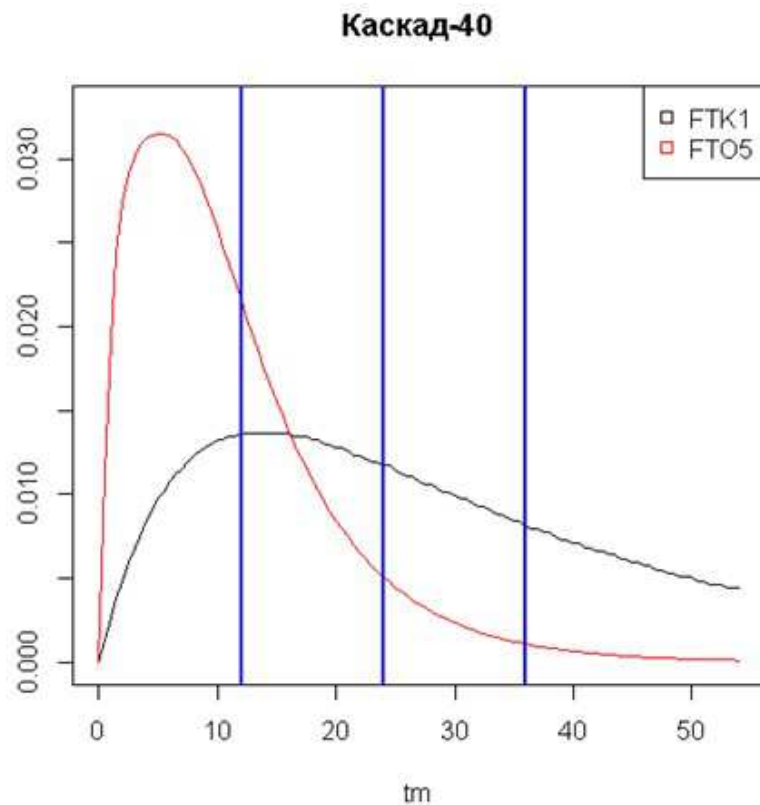


Рисунок 9 – Сравнение вероятности поломок оборудования Каскад – 40 за период 1, 2, 3 года отделений ФТК№1 и ФТО№5

Таблица 9 – Сравнение отношений вероятности поломок оборудования Каскад – 40 за период 1, 2, 3 года отделений ФТК№1 и ФТО№5

Каскад-40	T = 1 год	T = 2 года	T = 3 года
ФТК1/ФТО5	0.3	0.6	0.8

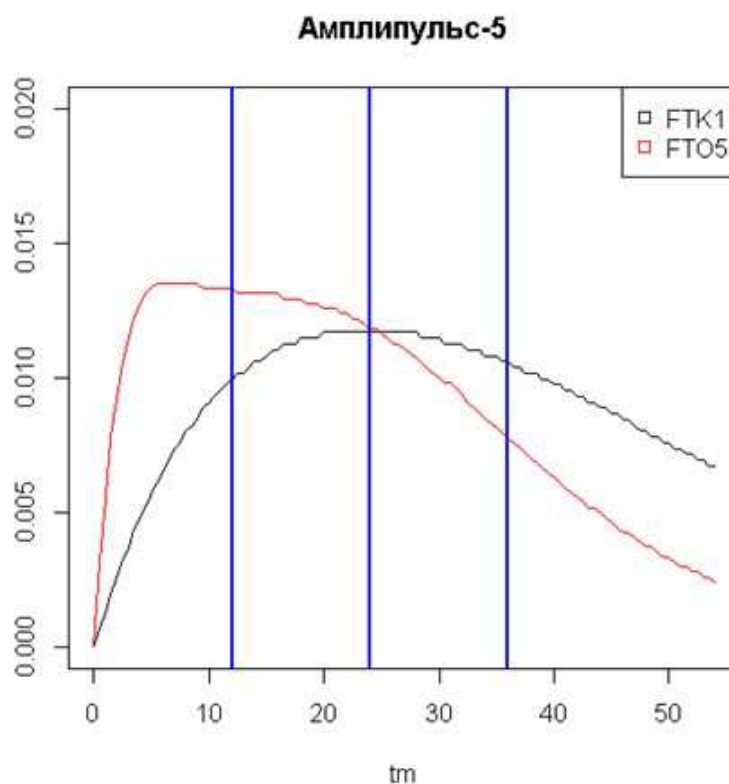


Рисунок 10 – Сравнение вероятности поломок оборудования Амплипульс – 5 за период 1, 2, 3 года отделений ФТК№1 и ФТО№5

Таблица 10 – Сравнение отношений вероятности поломок оборудования Амплипульс – 5 за период 1, 2, 3 года отделений ФТК№1 и ФТО№5

Амплипульс-5	T = 1 год	T = 2 года	T = 3 года
ФТК1/ФТО5	0.5	0.7	0.8

Исходя из полученных значений в таблицах 8 – 10, можно сделать вывод, что поломки медицинского оборудования чаще происходят в ФТК№1 по сравнению с ФТО№5 с большой разницей по двум оборудованиям в первый год, затем с увеличением времени эта разница сокращается..

ВЫВОДЫ

В результате работы были выполнены поставленные задачи и на основе полученных нами данных были сделаны следующие выводы:

1. Создана и систематизирована электронная база технического обслуживания и ремонта медицинского оборудования ФСНКЦ ФМБА России за период 06.2014 – 11.2018 гг. (54 месяца).

2. При сравнении частоты поломок теоретической модели с экспериментальными данными оказалось, что распределение Пуассона не описывает экспериментальные данные, т.к. λ для каждого оборудования в заданные промежутки времени меняется.

3. В результате применения модели на основе пуассоновского процесса были выявлены два отделения (ФТК№1, ФТОН№5) с достоверно различающейся динамикой поломок трех видов медицинского оборудования (УЗТ, Каскад – 40, Амплипульс – 5), из которых можно сделать вывод, что режим использования оборудования в ФТК№1 и ФТОН№5 отличается. Это может быть связано с проблемой использования оборудования пациентами и/или персоналом (перебитие кабелей, с небрежной эксплуатацией), с большей нагрузкой на них. В остальных случаях - интенсивность поломок в отделениях статистически не отличается друг от друга.

4. Исходя из рассчитанного отношения вероятностей поломок трех видов медицинского оборудования с достоверно различающейся динамикой поломок в отделениях ФТК№1, ФТОН№5 за 1, 2 и 3 года, можем наблюдать, что оборудование Каскад – 40 в ФТОН№5 ломается в первый год в 3 раза чаще, чем в ФТК№1; Амплипульс – 5 в 2 раза. А УЗТ в первый год ломается в 1,4 раза чаще, чем в ФТОН№5. Такой резонанс поломок может быть связан с ремонтом установок разными специалистами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочное пособие для врачей и медицинских инженеров под

- редакцией А.В. Малиновского «Руководство по ремонту и техническому обслуживанию медицинской техники», Санкт-Петербург, 2007.
2. Щербакова, А. А. О результатах анализа парка медицинской техники учреждений здравоохранения региона (на примере Вологодской области), Вологда, 2009.
 3. John J. Majikes, Rahul Pandita, Tao Xie. Literature Review of Testing Techniques for Medical Device Software, 2013.
 4. Muhammad Abid Jamil, Muhammad Arif, Normi Sham Awang Abubakar, Akhlaq Ahmad. Software Testing Techniques: A Literature Review. 2016.
 5. Н. Singh, V. Cortellessa, B. Cukic, E. Gunel, V. Bharadwaj. A Bayesian Approach to Reliability Prediction and Assessment of Component Based Systems, 2001.
 6. A Bayesian approach to reliability prediction and assessment of component based systems
 7. Феллер, В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения, статистический анализ, том 1. М.: "Мир", 1967. — 499 с.
 8. Carlin, B.P., and Louis, T. Bayesian methods for Data Analysis, 3rd ed.. Chapman and Hall, 2008.
 9. Congdon, P. Applied Bayesian modeling, Wiley, 2003.
 10. Карлин, С. Основы теории случайных процессов. М.: "Мир", 1971, — 537 с.
 11. Hajnal Vassa, Zsuzsanna K. Szabo. Application of Queuing Model to Patient Flow in Emergency Department. Case Study, Emerging Markets Queries in Finance and Business, ELSEVIER , 2015.
 12. Chang S. Lao, Statistical Methods in Monitoring Adverse Events for Medical Device Postmarketing Surveillance Studies, Center for Devices and Radiological Health, FDA 1350 Piccard Drive, Rockville, Maryland 20850.
 13. Albert, Bayesian Computation with R Springer, 2007.

14. Gamerman, D. and Lopes, H. F. Markov chain Monte Carlo: Stochastic simulation for Bayesian inference, second edition. Chapman & Hall. Gelman, 2006.
15. A., Carlin, J. B., Stern, H. S., & Rubin, D. B. Bayesian data analysis. Second Ed., London: Chapman and Hall, 2004.
16. Gonen, M., Westfall, P. H., and Johnson, W. O. Bayesian Multiple Testing for Two-Sample Multivariate Endpoints, Biometrics, 2003.
17. Inoue, L. Y. T., Berry, D.A., & Parmigiani, G. Relationship between Bayesian and frequentist sample size determination. The American Statistician, 2005.
18. Хими́на, И.Н. Рационализация управления медицинской помощью больным с заболеваниями желудка и двенадцатиперстной кишки на основе комплексного мониторинга и классификационно-прогностического моделирования / И.Н. Хими́на, В.Н. Эктов, О.Н. Чопоров О.Н. – Воронеж: изд-во «Научная книга», 2014. – 181 с.
19. Irony, T. Z, & Simon, R.. Application of Bayesian Methods to Medical Device Trials, in Clinical Evaluation of Medical Devices, Principles and Case Studies, Becker, K. and Whyte, J., 2nd Edition, 2006.
20. Irony, T. Z.. “Evolving Methods: Evaluating Medical Device Interventions in a Rapid State of Flux” in the proceedings of the Institute of Medicine roundtable on Evidence-Based Medicine called “The Learning Healthcare System”, 2007.
21. Lewis, C. and Thayer, D. T. (2004). A loss function related to the FDR for random effects multiple comparisons. Journal Stat Plan Inf 125, 49–58.
22. O’Malley AJ, Normand S-LT (2003). Statistics: Keeping pace with the medical technology revolution. Chance, 16(4): 41-44.
23. O’Malley AJ, Normand S-LT, Kuntz RE (2003). Application of models for multivariate mixed outcomes to medical device trials: Coronary artery stenting. Statistics in Medicine, 22(2):313-336.

24. Pennello, G. and Thompson, L. (2008) Experience with reviewing Bayesian medical device trials, *J Biopharmaceutical Statistics*, 18:1, 81-115).
25. Scott, J. G. and Berger, J. O. (2006) An exploration of aspects of Bayesian multiple testing, *Journal of Statistical Planning and Inference*, 136, 2144 – 2162.
26. Spiegelhalter, D. J., Abrams, K. R., & Myles, J. P. (2004). *Bayesian approaches to clinical trials and health-care evaluation*. New York: Wiley.
27. Spiegelhalter, D. J., Best, N. G., Carlin, B. P. and van der Linde, A. (2002) Bayesian measures of model complexity and fit. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 64, 583-616
28. статья частотный анализ (?) книга 60х годов
29. Раздел 513(a)(3) Федерального закона США о пищевых продуктах, лекарственных средствах и косметических средствах) FFDCA см. 21 USC 360c (a) (3)
30. Irony, T. Z., & Pennello, G. A. (2001). Choosing an appropriate prior for Bayesian medical device trials in the regulatory setting. In *American Statistical Association 2001 Proceedings of the Biopharmaceutical Section*. VA: Alexandria: American Statistical Association.
31. О.Н. Чопоров, С.В. Болгов, И.И. Манакин ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ И МНОГОУРОВНЕВОГО МОНИТОРИНГА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ, Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал №1(8), 2015
32. Медик В.А. Математическая статистика в медицине: учеб. пособие / В.А. Медик, М.С. Токмачев. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 800 с.
33. Чопоров О.Н. Методы предварительной обработки информации при системном анализе и моделировании медицинских систем / О.Н. Чопоров, Н.В. Наумов, Л.А. Куташова, А.И. Агарков // Врач-аспирант.

– № 6.2 (55). – 2012. – С. 382-390.

34. Чопоров О.Н. Оптимизация функционирования медицинских систем на основе интегральных оценок и классификационно-прогностического моделирования: дис. ... д-ра техн. наук. – Воронеж, 2001. – 325 с.
35. Юнкеров В.И. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований / В.И. Юнкеров, С.Г. Григорьев. – СПб.: ВМедА, 2002. – 266 с.
36. Байесовский подход Буре В.М., Грауэр Л.В. ШАД Санкт-Петербург, 2013 Буре В.М., Грауэр Л.В. (ШАД) Байесовский подход Санкт-Петербург, 2013 1 / 36

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Сводная таблица по наличию типов медицинского оборудования в разных отделениях ФСНК ФМБА России															
Оборудование / отделение	УЗТ	УВЧ	Узор	Каскад	Искра-1	Милта	Амплипульс	Полнос-2М	УГН-1	Мустанг-2000+	Нуватат 200	ОБН-150	Девар-7	ВМЭН	РБ-06-ЯФП
ФТН№1 (№30)	+(8)	+(12) (5)	+(4)	+(2)	+(11)	+(5)	+(7)	+(8)	+(4)	-	-	-			
ФТН№2 (№42)	+ (6)(2)	+(1)	-	+(1)	+(5)(2)	+(2)	+(11)(7)	+(23)(8) (10)	+(3)	+(8)(3)	+(3)	+(2)			
ФТО (№5)	+(13)	+(13) (7)(4)	+(12)	+(3)	+(9)	+(6)	+(14)	+(17)	-	-	+(6)	-			
ФТН№2 (№41)	+(1)	+(5)			+(0)		+(2)(2)		+(2)	+(5)	+(2)				
Г/п№1												-	+(3)	+(2)	+(0)
Г/п№2												+(1)	+(2)	+(1)	-
ФД(№32)												-	-	-	+(3)
Н/О№5												+(2)	+(4)(2)	-	+(4)(3)
Н/О№2												+(3)	+(0)	-	+(7)(4)
ЦСТ№3												+(1)	+(10)	+(4)	+(7)

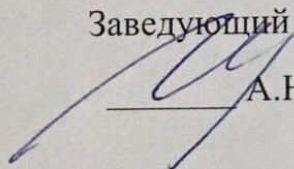
№ п/п	Подразделение, кабинет	Адрес расположения	Кол-во об-ния, ед
1	Отделение функциональной диагностики ДЦ	Коломенская, 26	67
2	Отделение эндоскопической диагностики ДЦ	Коломенская, 26	25
3	Отделение ультразвуковой диагностики ДЦ	Коломенская, 26	8
4	КДЛ	Коломенская, 26	110
5	ФТО	Коломенская, 26	58
6	Центр физической реабилитации	Коломенская, 26	15
7	ЦСО	Коломенская, 26	16
8	Аптека	Коломенская, 26	25
9	РДО	Коломенская, 26, Вавилова,29, Вавилова, 23Б, Бограда,13	59
10	Оперблок	Коломенская, 26	77
11	ОАР	Коломенская, 26	120
12	Кабинет плазмофереза	Коломенская, 26	23
13	Центр лечения боли	Коломенская, 26	11
14	Кабинет хранения и выдачи компонен. крови	Коломенская, 26	4
15	Поликлиника №1	Коломенская, 26	116
16	Приемный покой №1	Коломенская, 26	10
17	Хирургическое отделение	Коломенская, 26	12
18	Травматология-ортопедия	Коломенская, 26	15
19	Отделение оториноларингологии	Коломенская, 26	8
20	Отделение оториноларингологии (дн.стац.)	Коломенская, 26	6
21	Неврологическое отделение №4	Коломенская, 26	17
22	Неврологическое отделение №1	Коломенская, 26	30
23	Кардиологическое отделение	Коломенская, 26	29
24	Дезкамера	Коломенская, 26	1
25	Отделение скорой медицинской помощи	Коломенская, 26	120
26	Автомобильный госпиталь (ББР)	Коломенская, 26	155
27	Приемный покой №2	Вавилова, 23Б	3
28	ЦСТиОЗ (терапевтическое отделение)	Вавилова, 23Б	33

29	ЦСТиОЗ (неврологическое отделение №5)	Вавилова, 23Б	11
30	ФТК №1	Вавилова, 23Б	22
31	Центр восстановительной медицины	Вавилова, 23Б	25
32	Кабинет функциональной диагностики ДЦ	Вавилова, 23Б	26
33	Кабинет ультразвуковой диагностики ДЦ	Вавилова, 23Б	3
34	Кабинет эндоскопической диагностики ДЦ	Вавилова, 23Б	25
35	Поликлиника №3	Вавилова, 29	43
36	Кабинет ультразвуковой диагностики ДЦ	Вавилова, 29	1
37	Центр восстановительной медицины	Биатлонная, 37	14
38	Поликлиника №2	Бограда, 13	102
39	Кабинет функциональной диагностики ДЦ	Бограда, 13	3
40	Кабинет ультразвуковой диагностики ДЦ	Бограда, 13	1
41	ФТК №2	Бограда, 13	11
42	ФТК №2	К.Маркса, 34Б	48
43	Кабинет функциональной диагностики ДЦ	К.Маркса, 34Б	27
44	Кабинет ультразвуковой диагностики ДЦ	К.Маркса, 34Б	2
45	Приемный покой №3	К.Маркса, 34Б	4
46	Отделение двигательной реабилитации	К.Маркса, 34Б	94
47	Отделение восст-ния высших псих-ких ф-ций	К.Маркса, 34Б	7
48	Отделение неврологии №2	К.Маркса, 34Б	41
49	Отделение неврологии №3	К.Маркса, 34Б	30
50	Стоматологическое отделение	Коломенская, 26, Вавилова, 29, Бограда, 13, ОАО "Красмаш"	250
51	Здравпункт "Красмаш"	ОАО "Красмаш"	6

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии
Базовая кафедра медико-биологических систем и комплексов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


А.Н. Шуваев

«25» сентября 2019г.

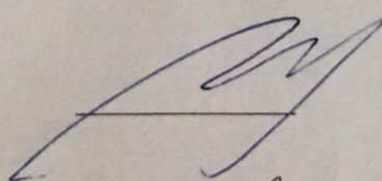
МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Статистический анализ сбоев в работе разных видов медицинского
оборудования

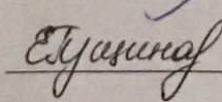
03.04.02 Физика

03.04.02.09 Технологическое сопровождение ядерной медицины и
медицинского оборудования

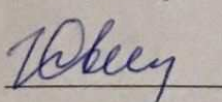
Научный руководитель


к. ф.-м. н. А.Н. Шуваев

Выпускник


Е.Д. Гущина

Рецензент


доцент, к.б.н. И.В. Свидерская

Красноярск 2019